

## ドライアイ予防のためのまばたき検出手法

## Blink Detection for Preventing Dry Eye

土江田 織枝<sup>†</sup> 葛西 彪斗<sup>†</sup> 林 裕樹<sup>†</sup> 山田 昌尚<sup>†</sup> 香山 瑞恵<sup>‡</sup>  
 Orie DOEDA Taketo KASAI Hiroki HAYASHI Masanao YAMADA Mizue KAYAMA

## 1. はじめに

まばたきの頻度には個人差があるものの、通常は 1 分間に 20 回程度が一般的で、パソコンや電子黒板などのディスプレイを見続けると、1 分間に 5 回程度にまで減少すると言われている。まばたきの回数が減ると、目の潤いを保つための涙の量が低下するドライアイになりやすくなる。ドライアイはさまざまな目のトラブルを引き起こすので、パソコンや電子黒板を使用する授業の際に長時間集中して見続けることがないように配慮が必要である[1]。そこで、まばたきの回数を検出し、その回数が少なくなった場合にまばたきを促すシステムの開発を行うこととした。システムは、持ち運びが容易で安価である小型コンピュータの Raspberry Pi を用いた。また、使用者が移動しても安定してまばたきを検出できる手法について検討し実装した。

## 2. システムの概要

本システムでは、小型コンピュータの Raspberry Pi4 Model B(4GB)を用いる。顔の画像は Raspberry Pi に USB 接続した 1280×720 画素で総画素数が 120 万画素程度のウェブカメラで取得する。システムの構成を図 1 に示す。ウェブカメラはディスプレイの上部ではなく、図 1 の左図の中央部の①(丸で囲った部分)に設置する。まばたきを促すときには、Raspberry Pi に接続した回路(図 1 の左図の②の丸で囲った部分)の赤色の LED を点灯することで、システムの利用者が視覚的に認識できるようにする。本システムの処理は Python3 で実装しており、画像処理に OpenCV3、まばたきの検出などの処理に機械学習用のライブラリの dlib を使用する。

## 3. 顔領域とまばたきの検出



図 1 システムの構成

## 3.1 顔領域の検出

ウェブカメラの映像から顔領域を検出する必要があるため、dlib の顔検出器と OpenCV の Haar 特徴ベースの Cascade 型分類器を使った物体検出を用いた場合について比較を行った。まず、dlib の顔検出器は、検出精度は高いものの計算量が大きく、フレームレートが 30fps の入力を Raspberry Pi で処理すると、3 から 5fps 程度の処理速度しか得られなかった。一方 Haar-Cascade 型分類器は計算量が小さいため、Raspberry Pi でもフレームレートが低下することなく処理が可能だった。これらの結果から、本システムの顔領域の検出には Haar-Cascade 型分類器が適していると判断した。Haar-Cascade 型分類器を使用して顔領域を検出した様子を図 2 に示す。図中の四角枠が顔領域として検出した部分を示している。

## 3.2 顔の特徴点の検出

次に、取得した顔領域から目の特徴点の座標を取得する必要があるため、dlib の特徴点(ランドマーク)検出器で 68 個の特徴点を取得し、その中から左目と右目の部分の合計 12 個を用いることとする。これらの特徴点から目の形状を評価し、まばたきの検出を行う。

## 3.3 まばたきの検出

まばたきの検出は、右目の場合を示した図 3 の p1 から p6 までの特徴点に対して、p1 と p6 の距離で示される目の横幅の 2 倍で、p2 と p3、p4 と p5 の距離で示される 2 か所の目の縦幅の和を割った EAR(Eye Aspect Ratio) (式(1))と呼ばれる値を用いる[2]。EAR の値は、目が開いている際は大きく、目を閉じていると小さくなる。まばたきの判定に使う閾値は 0.2 が適当とされているが、目の縦横比には個人差があるため、本システムでは、0.25 を基準値とし、レベル値 value を 0 から 10 までの整数から選択することで、閾値を 0.25 から 0.3 の間で調整できるようにしている(式(2))。このように定めた閾値を用いて、EAR の値が閾値よりも下回ったときに、まばたきをしたと判定する。

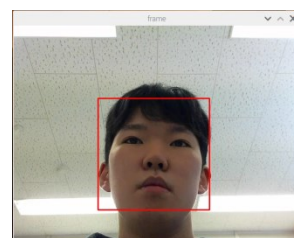
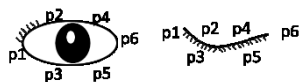


図 2 顔を検出した様子

<sup>†</sup> 釧路工業高等専門学校, National Institute of Technology, Kushiro College

<sup>‡</sup> 信州大学工学部, Faculty of Engineering, Shinshu University



(a) 右目を開いた状態 (b) 右目を閉じた状態

図 3 まばたき判定に必要な各要素の位置

$$EAR = \frac{||p2-p3||+||p4-p5||}{2||p1-p6||} \quad (1)$$

$$\text{閾値} = 0.25 + 0.005 * \text{value} \quad (2)$$

## 4. まばたき検出の問題点と改善方法

### 4.1 顔領域の検出の問題点

本システムは、図 1 の①の位置に設置したウェブカメラから、約 50 センチ程度のところに顔が位置するようにして使用する(図 4 の状態)。しかし、システムを使用中に使用者の位置が変化すると、Haar-Cascade 型分類器による顔領域の検出では、特にカメラから顔を遠ざけたときに検出が不安定になり、カメラから距離が約 60 センチを超えると顔領域の検出が難しくなる。このような状態は、ディスプレイに向かう作業の際に頻繁に生じるので、ディスプレイと使用者の位置が離れた場合にも安定して顔領域を検出することが必要となる。そこで本システムでは、顔領域の検出をすべての入力フレームに対して行うのではなく、顔領域の検出は一定の間隔のフレームに対してのみ行い、それ以外の期間は顔領域を追跡することで、顔の位置の移動にも対応できるようにする。

### 4.2 顔領域の追跡の導入

顔領域の検出は、システムの起動時から 30 秒間隔で Haar-Cascade 型分類器で行い、その顔領域を OpenCV の MedianFlow を用いて追跡する。追跡の手順を以下に示す。

- ・ **Step.1.** 最初に Haar-Cascade 型分類器で顔領域を取得する
- ・ **Step.2.** Step.1 で得られた領域を MedianFlow を用いて追跡する
- ・ **Step.3.** 追跡だけでは顔領域にずれが生じるため、30 秒おきに Haar-Cascade 型分類器により顔領域を再取得する

最初に Step.1 を行った後は、Step.2 と Step.3 を繰り返して顔領域の追跡、検出を行う。

## 5. 評価実験

本システムについて、顔領域の検出に Haar-Cascade 型分類器だけを用いた方法と、MedianFlow を使って顔領域の追跡処理を取り入れた方法について、まばたきの回数の検出精度の評価実験を行った。実験は被験者 10 名にディスプレイに表示した文章を 1 分間黙読してもらった際のまばたきの回数を計測した。ここで、まばたきの検出率は、実験の映像から計測した実際のまばたきの回数に対してシステムが検出したまばたきの回数の比率で求めた。実験では被験者が移動した際の顔領域の検出とまばたきの検出率の確認をするために、静止した状態の他に上半身を左右に

ゆっくりと移動した状態と前後にゆっくりと移動した状態で、各 1 分間の黙読をお願いした。移動の範囲は被験者の顔領域がディスプレイ内に収まる程度とした。実験中の様子を図 4 に示す。図 4 で被験者の前に設置しているディスプレイの上部に装着しているウェブカメラは、まばたきの回数を手動で計測するとき用いる画像を取得するためのものである。

評価実験の結果、顔領域の検出に Haar-Cascade 型分類器だけを用いた場合のまばたきの検出では、静止した状態では 84.3%、左右に移動した状態では 82%、前後に移動した状態では 56.7%の検出率だった。ここで示した検出率は被験者 10 人分の結果の平均値である。一方、顔領域の検出に追跡処理を取り入れたまばたきの検出では、静止状態では 93.66%、左右に移動した時は 92.33%、前後に移動した時は 92.33%と検出率が上がった。これらの結果から、Haar-Cascade 型分類器だけを用いた方法では、顔の検出に失敗する頻度が高いため、まばたきの検出にも影響が生じていると考えられる。追跡処理を取り入れたことで、特に前後に移動した際の検出率が改善でき、カメラからの距離が約 90 センチを超えてもまばたきを検出できるようになった。また、顔を左右に移動できる範囲も広がった。

まばたきを促す機能として、5 秒間まばたきの検出がなかったときには、図 1 の左図の②に示す回路の赤色の LED を点灯することとしている。まばたきを検出することで LED は消灯する。この方法についてのまばたきの促し効果を調べた結果、LED が点灯して 5 秒間を経過しても、被験者の約 18%はまばたきをしない状態だった。理由としては、ディスプレイの画面を集中して見ていたので LED の状態の変化に気が付かなかったとのことだった。

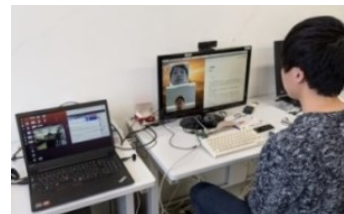


図 4 評価実験の様子

## 6. まとめ

まばたきの判定を、Haar-Cascade 型分類器で顔領域を取得して MedianFlow で追跡し、EAR の値で判定することで行った。従来の取得方法では、カメラから使用者の顔の位置が離れると、まばたきの検出が行えない状態も生じたが、追跡処理を用いることで離れた位置からも検出が行えるようになった。しかし、被験者によっては、まばたきの検出率に差が生じていた。原因としては、EAR の閾値も影響があると考えられるため、システムを起動時に自動で設定できるように改良を行う。また、まばたきを促すための通知方法についても、まばたきが必要と判断した際には、確実に通知できる方法を検討する予定である。

### 参考文献

- [1] 文部科学省 生涯学習政策局 情報教育課, “児童生徒の健康に留意して ICT を活用するためのガイドブック”, 2018
- [2] Tereza Soukupová and Jan Čech, “Real-Time Eye Blink Detection using Facial Landmarks”, 21st Computer Vision Winter Workshop, 2016